

ま え が き

わが国の自動車産業や電子機器産業、鉄鋼産業などにおけるものづくりは、技能と技術を融合させて世界に名だたる製品を送り出しています。このものづくりを機械工学の立場で捉えた場合、機械製品を製作するための生産技術であるといえます。機械製品をつくり上げるためには、機械工学に関わる専門的知識を駆使することが必要不可欠であり、これらを回避しての機械製作はありえないのです。

一方、機械製品を製作するための知識を集約させた学問分野として「生産加工学」があり、機械技術を学ぶ者にとっては重要な位置を占めています。一般的に、利用者側のニーズや開発者側のシーズなどを基にして生まれた萌芽的考えを機械製品として具現化するには、さらに意匠・設計・製図などによる具体的検討を加えた後に、加工、検査・管理等の手順を経て製品化されています。

このような過程を経て出来上がった製品の優劣を左右する要因の一つに品位があり、これを支配する因子として機械加工技術が存在します。当然ながら、高品位な機械製品には優れた加工技術が用いられており、高い技術力の適応が伴って、はじめて高品位である機械製品を生み出すことができます。この認識を踏まえれば、加工に関する知識を理解し、これを習得することを望む学生や技術者においては、生産加工学は必須ともいえる学問分野となります。

本書は、生産加工を行ううえで必要とされる加工技術を幅広く扱い、経済性への視点も含めて多面的に学ぶことができることを目的に執筆、編集された入門書です。執筆者は各章のいずれもそれを専門分野とする大学教員で、研究と教育に長年にわたる経験を有しており、初学者に対しても容易に理解できるように配慮し、おおむね各章が1回の講義内容となる工夫を加え、解説を行っています。したがって、高等専門学校や大学での生産加工に関連する科目の教科

書として、また企業の教育用テキストとして本書を活用されることを期待しています。

本書は14章で構成されています。1章は、工作機械の歴史的発展経緯と切削工具の進歩について述べ、工作機械の基本となる旋盤、フライス盤を含めて各種工作機械の特徴についても解説をしています。2章は旋削加工用工具についての材料的特徴、3章は切削条件因子と被加工材との関係、4章はフライスの加工形式の違いが及ぼす加工上の特徴についてそれぞれ解説をしています。

5章は穴あけ加工について加工様式の違いとそれぞれの特徴について解説をしています。6章は切削機構が理解しやすいように、幾何学的二次元状態として扱い、切りくず生成時における力学的挙動について詳しく解説をしています。7章は砥粒加工における粒子の挙動と高精度な仕上げ面が得られるさまざまな研削加工法について解説し、8章は超音波利用による各種の加工法についてその特徴を解説しています。

9章は非接触加工法としての放電加工と電解加工を取り上げ、10章はレーザ加工とし、この二つの章で熱的効果を利用する加工法としての特徴について解説をしています。

11章は真空環境下での微細加工法としての電子ビーム加工とイオンビーム加工それにプラズマ加工を取り上げて、その特徴について解説をしています。

12章は砥粒と流体媒体とを融合させた複合的加工技術であるアブレイシブジェット加工法の特徴について解説をしています。13章は11章の応用技術としての微細複雑形状加工法として確立しているフォトファブ리케이션を取り上げ、その特徴について解説をしています。

最終章の14章では、生産加工を行ううえで必要不可欠な加工の経済性を考える場合の具体的な取り組み方を解説しています。各章の最後には、理解度を確認するための演習問題を記載し、本書を利用された方が設問を解くことで理解度を確認できるようになっています。

ものづくりが、より高度で複雑化する現在にあって、本書が生産加工を学ぶ機械技術者を育て上げるための一助となることを願っています。

なお各章ごとの執筆は、井上（1～6, 8, 10, 13, 14章）、ペトロス（12章）、酒井（7, 9, 11章）が担当しました。

最後に、本書を執筆するに当たり、先輩諸氏の優れた生産に関するさまざまな著作物を参考にさせていただきました。ここに資料を提供して頂きました皆様、きれいなイラストを描いて頂きました池谷暢昭氏、出版計画より大幅な遅延が出る中、多大なご助力とご協力を賜りました株式会社コロナ社に深く感謝を申し上げます。

2014年9月

執筆者一同

目 次

1 工 作 機 械

| | |
|------------------|----|
| 1.1 工作機械と切削工具の歴史 | 1 |
| 1.2 加工機械 | 3 |
| 1.2.1 旋盤 | 3 |
| 1.2.2 旋盤の構造 | 3 |
| 1.2.3 立軸形旋盤 | 4 |
| 1.2.4 NC旋盤 | 5 |
| 1.2.5 フライス盤 | 6 |
| 1.2.6 立軸形フライス盤 | 7 |
| 1.2.7 横軸形フライス盤 | 8 |
| 1.2.8 MC形工作機械 | 9 |
| 演習問題 | 10 |

2 切 削 工 具

| | |
|---------------|----|
| 2.1 旋削工具材料 | 11 |
| 2.2 フライス加工工具 | 13 |
| 2.3 エンドミル加工工具 | 14 |
| 2.4 ドリル加工工具 | 16 |
| 演習問題 | 18 |

3 切 削 加 工 条 件

| | |
|----------|----|
| 3.1 切削速度 | 19 |
|----------|----|

| | |
|--------------|----|
| 3.2 工具すくい角 | 20 |
| 3.3 送り量と切込み量 | 21 |
| 3.4 切削動力 | 22 |
| 演習問題 | 22 |

4 フライス加工

| | |
|----------------|----|
| 4.1 フライス加工様式 | 23 |
| 4.2 立軸形フライス加工 | 24 |
| 4.2.1 正面フライス加工 | 24 |
| 4.2.2 エンドミル加工 | 25 |
| 4.3 横軸形フライス加工 | 26 |
| 4.3.1 総形加工 | 26 |
| 4.3.2 すり割り加工 | 27 |
| 4.4 フライス加工条件 | 28 |
| 演習問題 | 29 |

5 穴あけ加工

| | |
|-----------------|----|
| 5.1 ドリル加工 | 30 |
| 5.2 ガンドリルとBTA加工 | 34 |
| 演習問題 | 35 |

6 切削機構

| | |
|-------------------|----|
| 6.1 二次元切削と三次元切削 | 36 |
| 6.2 切削の力学 | 37 |
| 6.2.1 切削抵抗力 | 37 |
| 6.2.2 せん断角 | 38 |
| 6.2.3 工具・切りくず接触長さ | 40 |
| 6.2.4 切削加工温度 | 42 |

| | |
|-----------------|----|
| 6.3 加工条件と加工費用 | 44 |
| 6.3.1 工具摩耗 | 44 |
| 6.3.2 仕上げ面粗さ | 46 |
| 6.3.3 切りくず形状と処理 | 47 |
| 6.3.4 工具摩耗の影響 | 50 |
| 演習問題 | 52 |

7 研削加工および砥粒加工

| | |
|-----------------------|----|
| 7.1 砥粒 | 54 |
| 7.2 研削加工 | 58 |
| 7.2.1 研削用砥石 | 58 |
| 7.2.2 研削の加工メカニズム | 59 |
| 7.2.3 平面研削加工 | 61 |
| 7.2.4 円筒研削加工 | 63 |
| 7.2.5 研削クーラント | 65 |
| 7.2.6 実際の研削加工作業における注意 | 66 |
| 7.3 砥粒加工 | 68 |
| 7.3.1 ラッピング | 68 |
| 7.3.2 ホーニング | 69 |
| 7.3.3 バフ研磨 | 70 |
| 演習問題 | 71 |

8 超音波加工

| | |
|-------------|----|
| 8.1 超音波振動原理 | 72 |
| 8.2 超音波砥粒加工 | 74 |
| 8.3 超音波研削加工 | 78 |
| 8.4 超音波切削加工 | 80 |
| 8.5 応用加工技術 | 81 |
| 演習問題 | 82 |

9 非 接 触 加 工

| | |
|-------------------------|----|
| 9.1 放 電 加 工 | 83 |
| 9.1.1 放電加工の概要 | 83 |
| 9.1.2 型彫放電加工 | 85 |
| 9.1.3 ワイヤ放電加工 | 88 |
| 9.1.4 新しい放電加工応用事例 | 90 |
| 9.2 電 解 加 工 | 91 |
| 演 習 問 題 | 94 |

10 レ ー ザ

| | |
|-------------------------|-----|
| 10.1 レーザ発振原理 | 95 |
| 10.2 レーザ発振器の種類と利用 | 97 |
| 10.3 せん孔加工 | 99 |
| 10.3.1 加工穴形状 | 99 |
| 10.3.2 穴 径 | 100 |
| 10.4 切 断 加 工 | 101 |
| 10.5 接 合 加 工 | 103 |
| 10.6 三次元造形加工法 | 106 |
| 10.7 表 面 改 質 | 108 |
| 演 習 問 題 | 111 |

11 ビ ー ム 加 工

| | |
|----------------------------|-----|
| 11.1 電子ビーム加工 | 113 |
| 11.1.1 電子ビーム技術の歴史的背景 | 113 |
| 11.1.2 電子ビーム加工機 | 114 |
| 11.2 イオンビーム加工 | 116 |
| 11.2.1 イオンビームエッチング | 117 |

| | |
|-------------------|-----|
| 11.2.2 集束イオンビーム加工 | 118 |
| 11.2.3 イオン注入法 | 118 |
| 11.3 プラズマ加工 | 119 |
| 11.3.1 プラズマ切断, 溶接 | 119 |
| 11.3.2 プラズマ溶射 | 120 |
| 演習問題 | 121 |

12 アブレイシブジェット加工

| | |
|---------------------|-----|
| 12.1 ウォータージェット加工の歴史 | 122 |
| 12.2 加工機 | 123 |
| 12.2.1 加圧ポンプ | 123 |
| 12.2.2 切断ヘッド | 124 |
| 12.2.3 可動ステージ | 124 |
| 12.3 加工条件 (プロセス) | 125 |
| 12.3.1 加工液 | 126 |
| 12.3.2 オリフィスおよびノズル | 127 |
| 12.3.3 砥粒 | 128 |
| 12.4 加工条件 | 128 |
| 12.4.1 位置決め | 128 |
| 12.4.2 切削幅補正 | 129 |
| 12.4.3 プログラミング誤差 | 129 |
| 12.4.4 材料の固定 | 129 |
| 12.5 加工精度 | 130 |
| 12.6 被加工材料 | 130 |
| 12.7 利点と欠点 | 131 |
| 演習問題 | 132 |

13 フォトファブリケーション

| | |
|----------------|-----|
| 13.1 フォトリソグラフィ | 133 |
|----------------|-----|

| | |
|---------------------------|-----|
| 13.2 露 光 技 術 | 134 |
| 13.3 エ ッ チ ン グ | 136 |
| 13.4 フォトエレクトロフォーミング | 137 |
| 演 習 問 題 | 138 |

14 機械加工の経済性

| | |
|----------------------|-----|
| 14.1 切 削 加 工 費 | 139 |
| 14.2 工作機械の導入評価 | 140 |
| 14.3 損 益 分 岐 | 141 |
| 演 習 問 題 | 143 |
| 引用・参考文献 | 144 |
| 演習問題解答 | 148 |
| 索 引 | 158 |



「ものづくり」が人を豊かにしてきた。ものをつくるには、素材を曲げ伸ばしを行う変形加工，削り切りくずを出す除去加工，つなぎ合せを行う接合加工が不可欠である。人類誕生から今日までこれらの加工法を活用し，多くの「道具」が作られてきた。近代の代表的な文明の一つとして人の道具と加工技術は，工作機械と工具の存在にあり，これを利用する技術にある。現代では，優れた科学技術を背景にして高精度な加工機械が産み出され，高い形状精度で高品位なものづくりがなされ，われわれの生活を便利で豊かな社会としている。

1.1 工作機械と切削工具の歴史

近代形工作機械の原点は，1775年のJohn Wilkinson（英）による中ぐり盤の発明にあるといえる。1712年にThomas Newcomen（英）が考案した蒸気機関にJames Watt（英）が改良を加えて実用化に成功したが，その後の工作機械が蒸気機関用シリンダの加工形状精度を格段に向上させ，高い効率性を発揮する生産動力源として産業革命を後押しした。

一方，この時代の工作機械が保障できる加工精度は，現在とは比較にならないほどの低い形状精度であった。しかし，1797年にHenry Maudslay（英）が開発した，送り台装置付きでねじ切り加工が行える全鉄製旋盤¹⁾の出現は，機械加工における加工製品の形状精度を格段に向上させることを可能にした。その後，1810年代に入りフライス盤，1830年代にホブ盤と機種のプロトタイプができてくる。

このように工作機械の精度や性能などが向上する中，1952年米国マサチュー

2 1. 工 作 機 械

セツ工科大学（MIT）で、電気パルス信号を使いサーボを駆動制御する**数値制御形工作機械**²⁾（numerically controlled machine tool, NC 形工作機械）が開発された。この原型は紙テープに開けられた穴の数を読み取る方法で、主軸回転、切込み、それに送り、の三つの主要な駆動部を制御する方式を取り入れている。

この時点で数値制御型工作機械の基本的構造ができあがっていた。その後、数値制御は発展を続け、1958年に米国のカーネイ&トレッカー社は工具を自動交換するマシニングセンタと呼ばれる機種を開発した。

現在のNC形工作機械では**工具自動交換**³⁾（automatic tool changer, **ATC**）機能は通常の装備となっている。そのほか、*X*軸、*Y*軸、*Z*軸方向の駆動制御、それにワーク部が*X*軸や*Y*軸周りに回転できる4軸制御や5軸制御をもつ複合型工作機械が出現する中、加工精度も高いものとなっている。このようなNC形工作機械は、成型金型の加工やジェットエンジン用ブレードの加工など、高精度で複雑形状な加工を必要とする部品に利用されている。

一方、このような工作機械の発展に併せて「工具材料」の開発も進み、高速度切削に適した切削工具が利用されている。歴史的には、1890年に「炭素工具鋼」が実用的な切削工具として出現しているが、当時の切削速度は12 m/min前後の遅いものであった。1900年に入り「高速度工具鋼」が開発され、1928年はこの高速度工具鋼にCoを添加することで、切削速度は30 m/minまでと飛躍的な改善をみた。

1926年にドイツのクルップ社が粉末金属による焼結炭化物を組成にもつ工具、すなわち「超硬工具」を開発し、高速度工具鋼の2倍近くまでの切削速度を可能とした。1972年には合成化学技術を使い天然には存在しない**立方晶窒化ホウ素**（cubic boron nitride, **cBN**）を作り出し、切削工具用材料に利用されている。

また、酸化物系や窒化物系の無機質材料なども切削工具材料として利用されている。これらの切削工具は、高速度領域での切削が可能であることに加えて、これまで経済的な切削が困難とされてきた高硬度鋼や耐熱鋼などの難削性

材料に対しても、経済的で効率的な切削が可能となっている。

1.2 加工機械

加工には、切断・切削，研削，塑性などさまざまな方法がある。また，これらの加工方法に適するように**加工機械**（working machine）が作られた。さらに，これらの基本系から派生した工作機械も多くある。ここでは，代表的な加工機械である旋盤，フライス盤について解説する。

1.2.1 旋盤

Moudslay が開発した全鉄製旋盤が，今日ある**旋盤**（lathe）の原型である。この時点ですでに基本的構造ができて上がっている。旋盤は円筒形状に加工することを最も得意とする工作機械である。加工物の中心軸に向って材料を固定して，ねじ切り，中ぐり，テーパ，球面などの加工ができる。また非対称形状物の加工や偏心軸の加工などの特殊な加工も行える万能な機械で，工作機械の**マザーマシン**（mother machine）といわれている。

1.2.2 旋盤の構造

普通旋盤の構造（structure of lathe）を図 1.1 に示す。旋盤はベッドの構造本体部，自動送りや主軸回転運動を行わせる駆動部，工具と加工材料との相対的位置関係を補足する調整機構部で構成されている。切削運動を行う駆動部には工作物を固定する**チャック**（spindle with chuck）とこれを歯車変速で駆動する**主軸回転機構**（headstock assembly）がある。ベッド部には加工物の固定や穴あけ加工を手助けする**心押台装置**（tailstock assembly），切削工具を取り付ける**刃物台**（tool post）が装着されている。

ベッド部やフレーム部の多くは鋳物構造である。そのおもな理由として，駆動モータによる振動や加工時に起きる工具や加工材からの振動を減衰させる対策と，鋳型生産によるコストの低減にある。特に高い精度への要求に対して

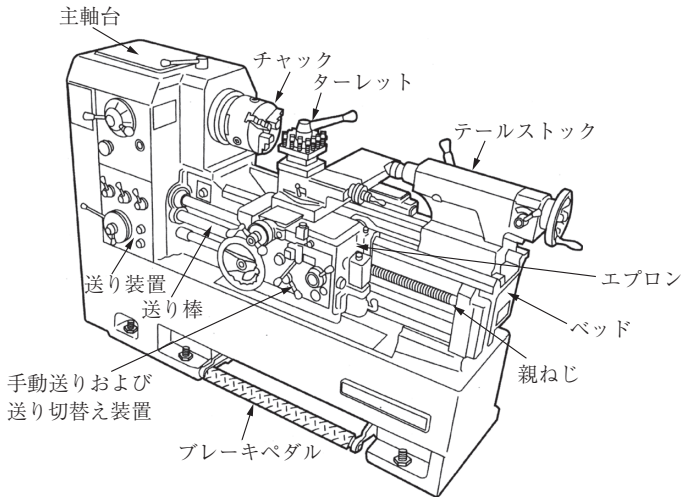


図 1.1 普通旋盤の構造

は、ベッド本体をセラミックス材とする場合もある。

また、駆動部にあたる主軸台には、歯車変速機構が組み込まれており主軸を駆動させるほかに多くの歯車を介して主軸の回転制御のみならず、送り棒 (feed rod) と連動することにより、切込み量 (depth of cut) や送り量 (feed rate) が制御できる。また、エプロン部 (apron) にあるスプリットナットを介してねじ切り棒 (lead screw) を駆動させてねじ切り加工が行える。さらに、変速機の歯車を交換する (歯数を変える) 方法でねじ切り加工に必要なねじピッチ (lead pitch) に対応できる機構となっている。さらに、工具を取り付ける刃物台は、工具を前後、左右、旋回できる機構で、工具に角度を与えることでテーパ形状の加工が行える。

1.2.3 立軸形旋盤

立軸形旋盤 (vertical lathe) を図 1.2 で示す。この旋盤の構造的特徴は、広く普及している主軸横向き形とは異なり主軸が垂直方向に設置されていることである。この旋盤は中・大口径の加工物に対して広く利用されている。しか

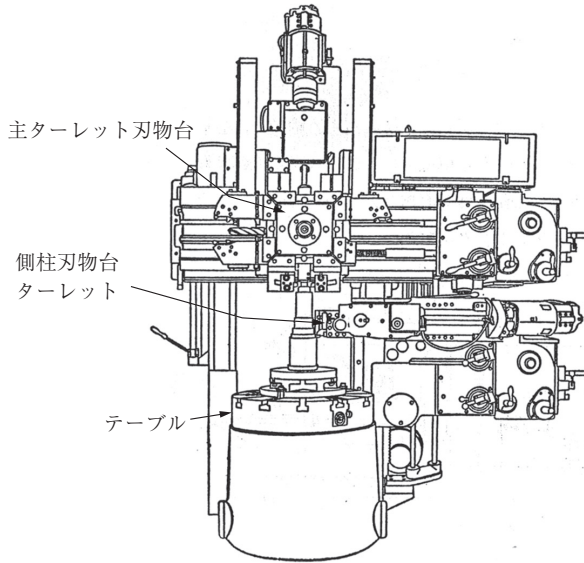


図 1.2 立軸形旋盤

し、機能的には主軸の位置が縦方向となる以外は横軸形旋盤と同様である。このタイプは、横形に比べて設置床面積を小さくできるメリットがある。

1.2.4 NC 旋盤

旋盤に**数値制御** (numerical control) 装置を付けることによって、刃物台の移動距離や送り速度を制御できるようにしたものを **NC 旋盤** というが、このうち、特にコンピュータを用いて制御するものを **CNC 旋盤** (computerized numerical control lathe) という (図 1.3 参照)。

この旋盤には作業者の知的役割を果たすマイクロプロセッサが装備されている点に特徴がある。頭脳となる CNC 装置を備え、加工条件である送り量、切込み量、切削速度などを制御する。また、手足となる動作は油圧アクチュエータがこれを代行する機構で切削加工を自動化しているため、汎用形のマン・マシンとは異なっている。特に、作業者の経験量によって加工形状精度に影響しない点や、工具の種類、工具経路などを事前に設定できる点も汎用機と

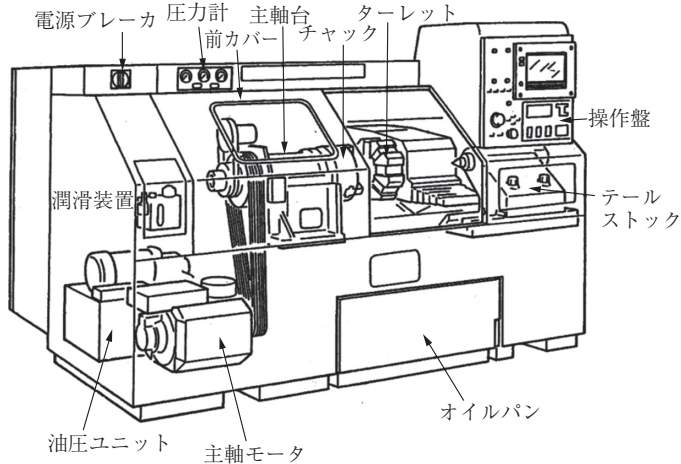


図1.3 CNC 旋盤

は大きな相違点である。しかし、切削加工における工具経路は作業者の手によりプログラムされるもので、CNC装置自身がプログラミングを作成するものではない。

最新のCNC形旋盤では、作成プログラムに対して工具と加工材との干渉や最短加工時間となる工具経路を判断し問題点を指摘するなど、より高度な機能をもち合わせている。このように自己判断機能を保有することで、これまで作業者を必要とした作業環境から脱却し、人件費を含めた加工費用を大幅に低減できる効果がある。

1.2.5 フライス盤

フライス盤 (milling machine) の構想ができ上がったのは1790年で、アメリカ陸軍が求めた銃器の開発がその発端である。現在に続く形式の基本形は、ブラウン&シャープ社が1861年に発表したNo.1 Universal Milling Machine (最初の万能フライス盤) である。

このフライス盤は、図1.4に示すように主軸の配置によって立軸形 (vertical spindle) と横軸形 (horizontal spindle) の2様式⁴⁾がある。また、フライス盤

索 引

| | | | | | |
|-------------|-------|-------------|---------|------------|-----|
| | | | | | |
| 【あ】 | 結合剤 | 58 | スパッタリング | 117 | |
| アーバ | 24 | 研削焼け | 67 | すり割り加工 | 27 |
| | | 研削割れ | 67 | | |
| | | 【こ】 | | 【せ】 | |
| 【い】 | | 合金工具鋼 | 11 | 正 角 | 20 |
| イオン注入法 | 118 | 工具・切りくず接触長さ | 40 | 積層構造法 | 106 |
| イオンビームエッチング | 117 | 工具・切りくず理論 | | 切削加工温度 | 43 |
| | | 接触長さ | 40 | 切削加工費 | 139 |
| 【う】 | | 工具自動交換 | 2 | 切削条件 | 44 |
| ウェーハ | 134 | 工具すくい角 | 20, 39 | 切削速度 | 19 |
| 上向き切削 | 23 | 高速度鋼 | 11 | 切削抵抗合力 | 37 |
| | | コーティッド工具 | 12 | 切削抵抗力 | 37 |
| 【え】 | | | | 切削動力 | 22 |
| エプロン部 | 4 | 【さ】 | | セラミックス系工具 | 12 |
| 円筒研削加工 | 63 | サーメット工具 | 12 | センタレス研削加工 | 65 |
| エンドミル加工 | 25 | 三次元切削 | 36 | 先端角 | 17 |
| エンドミル工具 | 14 | | | せん断角 | 39 |
| | | 【し】 | | せん断ひずみ | 39 |
| 【お】 | | 仕上げ面粗さ | 46 | せん断変形 | 39 |
| 送り量 | 4, 21 | 自生作用 | 78 | 旋 盤 | 3 |
| | | 下向き切削 | 23 | | |
| 【か】 | | 集束イオンビーム加工 | 118 | 【そ】 | |
| 加工費用 | 44 | 主軸回転機構 | 3 | 総形加工 | 26 |
| 型彫放電加工 | 83 | 焼 結 | 11 | 損益分岐点 | 142 |
| ガンドリル | 34 | 正面フライス加工 | 24 | | |
| | | 心 厚 | 16 | 【た】 | |
| 【き】 | | 心押台装置 | 3 | ダイヤモンド | 55 |
| 切りくず厚さ | 39 | 振動子 | 72 | 多結晶ダイヤモンド | 13 |
| 切りくず形状 | 47 | | | 立軸形 | 6 |
| 切込み量 | 4, 21 | 【す】 | | 立軸形旋盤 | 4 |
| 切刃溝 | 18 | 数値制御 | 5 | 立軸形フライス盤 | 7 |
| | | 数値制御形工作機械 | 2 | 単結晶ダイヤモンド | 12 |
| 【け】 | | ストリームラグ | 127 | | |
| 傾斜切削 | 36 | スパークアウト | 66 | 【ち】 | |
| | | | | チップフォーマ | 49 |

| | | | | | |
|------------|-----|------------|-----|------------|-------|
| チップブレーカ | 49 | | | プラズマ切断 | 119 |
| チャック | 3 | 【に】 | | プランジ研削 | 62 |
| 中空形状さり | 34 | 逃げ角 | 18 | 【へ】 | |
| 超音波研削加工 | 78 | 二次元切削 | 36 | 平面研削加工 | 61 |
| 超音波切削加工 | 80 | ニュートラル窒化処理 | 118 | 【ほ】 | |
| 超音波砥粒加工 | 74 | 【ね】 | | ホーニング | 69 |
| 超音波発振器 | 72 | ねじ切り棒 | 4 | ボンピング | 95 |
| 超 硬 | 11 | ねじピッチ | 4 | 【ま】 | |
| 【つ】 | | ねじれ角 | 18 | マザーマシン | 3 |
| ツルーイング | 60 | 年金原価係数 | 140 | マシニングセンタ | 9 |
| 【て】 | | 【の】 | | マージン | 18 |
| テーラーの | | ノーズ半径 | 21 | 【ゆ】 | |
| 工具寿命方程式 | 44 | 【は】 | | 誘導放出 | 96 |
| 【と】 | | 白 層 | 88 | 遊離砥粒加工 | 68 |
| 砥 石 | 58 | バフ研磨 | 70 | 【よ】 | |
| ——の3要素 | 59 | 刃物台 | 3 | 横軸形 | 6 |
| ——の自生作用 | 60 | 万能フライス盤 | 7 | 横軸形フライス盤 | 8 |
| ——の目つぶれ | 60 | 【ひ】 | | 【ら】 | |
| ——の目づまり | 60 | 光硬化型樹脂 | 106 | ラッピング | 68 |
| 同時5軸制御 | 125 | 光造影 | 133 | 【り】 | |
| トラバース研削 | 62 | 平削りフライス盤 | 7 | 立方晶窒化ホウ素 | 2, 12 |
| 砥 粒 | 55 | 【ふ】 | | 理論最大粗さ | 46 |
| ドリル加工 | 30 | フォトレジスト | 133 | 【わ】 | |
| ドレッシング | 60 | 負 角 | 20 | ワイヤ放電加工 | 83 |
| 【な】 | | フライス加工工具 | 13 | | |
| 倣いフライス盤 | 7 | フライス加工様式 | 23 | | |
| | | フライス盤 | 6 | | |

| | | | | | |
|-------------|-------|------------|-----|------|-----|
| 【欧字】 | | Colwellの近似 | 21 | NC旋盤 | 5 |
| ATC | 2 | CVD法 | 109 | PVD法 | 109 |
| BTA | 34 | FMS生産システム | 10 | WA砥粒 | 55 |
| cBN | 2, 56 | GC砥粒 | 55 | YAG | 98 |
| CNC旋盤 | 5 | HAZ | 102 | | |
| | | MC形工作機械 | 9 | | |

— 著者略歴 —

井上 孝司 (いのうえ たかし)

- 1975年 大同工業大学工学部機械工学科卒業
1976年 大同工業大学技術職勤務
1988年 大同工業大学助手
1998年 大同工業大学大学院工学研究科博士
課程修了(材料・環境工学専攻), 博士(工学)
2003年 大同工業大学助教授
2004年 アメリカ カリフォルニア州立大学
DAVIS 校客員助教授
2007年 大同工業大学(現 大同大学)教授
現在に至る

Petros Abraha (ペトロス アブラハ)

- 1983年 Addis Ababa 大学工学部機械科卒業
1989年 名古屋大学工学部機械科研究生修了
1991年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期
課程修了(機械工学第2専攻)
1994年 名古屋大学大学院工学研究科博士後
期課程修了(機械工学専攻), 博士(工学)
1996年 豊田工業大学招聘研究員
1998年 名城大学講師
2001年 名城大学助教授
2006年 アメリカ カリフォルニア州立大学
DAVIS 校客員助教授
2007年 名城大学准教授
2008年 名城大学教授
現在に至る

酒井 克彦 (さかい かつひこ)

- 1989年 名古屋大学工学部機械工学科卒業
1991年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期
課程修了(機械工学第1および第
2専攻)
1994年 名古屋大学大学院工学研究科博士後
期課程修了(機械工学専攻), 博士(工
学)
1994年 名古屋大学助手
1999年 静岡大学助教授
2007年 静岡大学准教授
現在に至る

生産加工学

—ものづくりの技術から経済性の検討まで—

Fundamentals of Manufacturing — Basic Technology and Cost Efficiency —

© Takashi Inoue, Petros Abraha, Katsuhiko Sakai 2014

2014年11月7日 初版第1刷発行



検印省略

著者 井上孝司
Petros Abraha
酒井克彦
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04628-1 (高橋) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします